Aus der Abteilung für Neuroradiologie in der Kopfklinik
der Universität Würzburg
(Leiter: Professor Dr. M. Nadjmi)

NORMVARIATIONEN IM LUMBOSAKRALEN MYELOGRAMM

I n a u g u r a l - D i s s e r t a t i o n

verfaßt und der Hohen Medizinischen Fakultät
der
Julius-Maxinilians-Universität Würzburg
zur
Erlangung der medizinischen Doktorwürde

vorgelegt von
Eva-Maria Zimmer
aus Brettheim

Würzburg, den 19. Juni 1981

Aus der Abteilung für Neuroradiologie in der Kopfklinik
der Universität Würzburg
(Leiter: Professor Dr. M. Nadjmi)

NORMVARIATIONEN IM LUMBOSAKRALEN MYELOGRAMM

I n a u g u r a l - D i s s e r t a t i o n

verfaßt und der Hohen Medizinischen Fakultät
der
Julius-Maxinilians-Universität Würzburg
zur
Erlangung der medizinischen Doktorwürde

vorgelegt von
Eva-Maria Zimmer
aus Brettheim

Würzburg, den 19. Juni 1981

Referent: Professor Dr. M. Nadjmi

Korreferent: Professor Dr. K.A. Bushe

Dekan: Professor Dr. K.-H. Wulf

Tag der mündlichen Prüfung: 29.7.1981

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität Würzburg

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
Einleitung	1
Vorbemerkungen zur Anatomie	2
Material	4
Auswertung der Myelogramme	5
Ergebnisse	7
Alter und Geschlecht	8
Kontrastmittelanstieg	10
Übergangsvariationen	10
Breite der Lendenwirbelkörper	11
Interpedunkularabstand	11
Breite des KM-bandes	11
Länge der Nervenwurzeltaschen	14
Wurzeltaschenabgangswinkel	14
Intervertebralstrecke	17
Periduralraum	17
Abstandsrelationen	20
Diskussion	30
Zusammenfassung	41
Literaturverzeichnis	42

MEINEN LIEBEN ELTERN

EINLEITUNG

Die lumbosakrale Myelographie mit wasserlöslichen Kontrastmitteln gehört heute zu den häufigsten neuroradiologischen Untersuchungsmethoden. Sie stellt ein zuverlässiges Untersuchungsverfahren dar und ist für die präoperative Diagnostik unentbehrlich. Während die sicheren Veränderungen eines Bandscheibenprolapses im Myelogramm problemlos erkannt werden, bereiten die sogenannten Grenzbefunde nicht selten diagnostische Schwierigkeiten, vor allem im Hinblick auf die relativ großen Normvarianten anatomischer Strukturen dieser Region. Sie zu studieren ist die Aufgabe dieser Arbeit, die sich mit der Analyse eines Kollektives von 600 Myelogrammen mit wasserlöslichen Kontrastmitteln befaßt.

VORBEMERKUNGEN ZUR ANATOMIE

Neben den Lehrbüchern der Anatomie dienen Auszüge aus anderen Veröffentlichungen als Vorlage für die Vorbemerkungen zur Anatomie (5, 12, 22, 24, 26, 33, 41, 42, 43).
Die Lendenwirbelsäule besteht aus fünf Wirbelkörpern, die nach unten zu an Größe (d.h. Höhe und Breite) zunehmen. Zwischen den Wirbelkörpern liegen Bandscheiben, ihre Höhe beträgt lumbal etwa ein Drittel der Wirbelkörperhöhe. Die lumbosakrale Bandscheibe kann auch normalerweise etwas niedriger sein. Das Kreuzbein entsteht aus der Verschmelzung von 5 Wirbeln, das Steißbein aus 4 - 5 rudimentären Wirbeln.
Der lumbale Spinalkanal erhält seine Form durch die foramina vertebralia der 5 Lendenwirbelkörper (LWK). Die Begrenzungen sind vorne die Wirbelkörper (corpora vertebralia) und Bandscheiben, hinten die Wirbelbögen (arcus vertebrales) und seitlich die Bogenwurzeln (pediculi arcuum vertebralium) sowie Intervertebrallöcher. Die ventrale Fläche des Spinalkanals wird durch das ligamentum longitudinale posterius und die dorsale durch das ligamentum flavum ausgekleidet. Der Abstand zwischen den beiden Bogenwurzeln heißt Interpedunkularabstand. In Höhe des 1. LWKs hat das foramen vertebrale die Gestalt eines gleichschenkligen Dreiecks. Zum 5. LWK hin wandelt es sich zum gleichseitigen Dreieck.

Das Rückenmark endet mit dem conus medullaris bei 44% der Personen in der Mitte des 1. LWKs (26),
bei 16% auf Höhe der BWK 12 - LWK 1 Zwischenwirbelscheibe,
bei 20% auf Höhe der LWK 1 - LWK 2 Zwischenwirbelscheibe,
bei 20% in der Mitte des 2. LWKs und
bei 4% auf Höhe der LWK 2 - LWK 3 Zwischenwirbelscheibe.

Die Nervenwurzeln ziehen vom Konus aus wie eine cauda equina fast senkrecht nach unten zu den zugehörigen foramina intervertebralia. Die cauda equina wird von einem meningealen Sack umgeben, der von außen nach innen aus dura mater, arachnoidea und pia mater besteht. Zwischen der arachnoidea und der das Rückenmark überziehenden pia mater liegt der liquorgefüllte

Subarachnoidalraum. Zwischen arachnoidea und dura mater liegt der virtuelle spaltförmige Subduralraum. Nach außen schließt sich der Epiduralraum, auch Extra- und Periduralraum genannt, an, er enthält u.a. Fettgewebe, Venenplexus und Lymphspalten. Die drei Rückenmarkshäute stellen die spinale Fortsetzung der entsprechenden Umhüllungen des Gehirns dar.

Der Duralsack reicht:

in 43% bis zur SWK 1 - SWK 2 "Bandscheibe" (die Sakralwirbelsäule besitzt nur Bandscheibenäquivalente),

in 32% bis zur Mitte des 2. SWKs,

in 23% bis zur SWK 2 - SWK 3 "Bandscheibe" und

in 2% bis zur SWK 3 - SWK 4 "Bandscheibe" (26).

Wenn der Subduralraum weiter caudal endet, endet meist auch das Rückenmark tiefer. Die Form des Duralsacks ist beim LWK 1 oval är und wird ungefähr in der Mitte der Lendenwirbelsäule dreieckig und paßt sich somit dem knöchernen Kanal an. Unterhalb dieser Höhe variieren Größe und Form des Duralsacks. Weite Duralräume sind meist lang. Im Gegensatz dazu sind enge meist auch kurz.

Die Rückenmarkswurzeln verlassen den Intraduralraum durch seitliche Öffnungen im Duralsack. Auf jeder Zwischenwirbelhöhe und -seite sind es je ein Paar (dorsal die sensible und ventral die motorische Wurzel). Die Nervenwurzeln werden auf einer kurzen Strecke von einer konisch sich verjüngenden Durascheide umhüllt, ziehen unter den Bogenwurzeln entlang und verlassen den Rückenmarkskanal durch die Intervertebrallöcher. Die Stelle, an der die Nervenwurzel den Duralsack durchbricht, hängt ab von der Höhe, in der der Duralsack endet. Endet er zwischen SWK 1 und SWK 2, so entspringen die Wurzeln etwa folgendermaßen:

die L1-Wurzeln in der Mitte des 1. LWKs,

die L2-Wurzeln in der Mitte des 2. LWKs,

die L3-Wurzeln im oberen Drittel des 3. LWKs,

die L4-Wurzeln im oberen Viertel des 4. LWKs,

die L5-Wurzeln im oberen Fünftel des 5. LWKs und

die S1-Wurzeln direkt über der letzten Bandscheibe (LWK 5/S1).

Wenn der caudale Endsack tiefer endet, entspringen die Wurzeln weiter caudal und umgekehrt (26).

MATERIAL

Für die Arbeit wurden 600 Dimer- X- Myelografien, die in der Neuroradiologischen Abteilung des Kopfklinikums der Universität Würzburg angefertigt wurden, verwendet.
Der Beobachtungszeitraum erstreckt sich von Anfang 1977 bis Anfang 1978. Die Zahl 600 entspricht etwa der Menge der jährlich angefertigten Myelogramme.
Da es sich bei dieser Arbeit um eine anatomische Studie handelt, andererseits aber die Zahl der vollkommen normalen Myelogramme nicht ausreicht, statistische Ergebnisse zu erzielen, wurde ein Kollektiv von Myelogrammen ausgesucht, bei denen möglichst nur ein pathologischer Befund vorlag, durch den die anatomischen Verhältnisse der anderen Höhen und auch der gegenüberliegenden Seite unbeeinflußt geblieben waren. Gemeint sind in erster Linie Myelogramme mit einem einzigen lateralen Bandscheibenvorfall und nur einem Wurzeldefekt ohne Einengung des Subarachnoidalraums. Nur die Dimer- X- Myelogramme wurden benutzt, deren Diagnose klinisch gesichert war. Wesentlich seltener wurden andersartige Raumforderungen gefunden wie zum Beispiel intraspinale und intradurale Prozesse, Metastasen, Stoppbildungen oder Veränderungen der knöchernen Strukturen.
Für die Punktion waren unterschiedliche Höhen gewählt worden, die aus der folgenden Tabelle ersichtlich sind. (Die Punktionsstelle konnte anhand der auf der Aufnahme sichtbaren Injektionskanüle reproduziert werden.)

Tabelle I : Punktionsstellen (Anzahl 600)

40	zwischen	BWK 12	und	LWK 1,	das entspricht	6,7%,
272	zwischen	LWK 1	und	LWK 2,	das entspricht	45,3%,
259	zwischen	LWK 2	und	LWK 3,	das entspricht	43,2%,
28	zwischen	LWK 3	und	LWK 4,	das entspricht	4,7%,
2	zwischen	LWK 4	und	LWK 5,	das entspricht	0,3%.

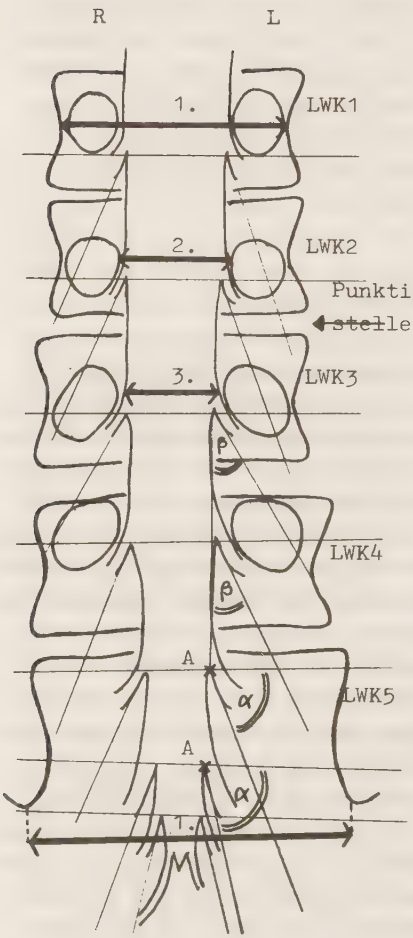
Die bei diesem Kollektiv injizierte Kontrastmittel (KM)-Menge betrug 7 ml Dimer- X, verdünnt auf insgesamt 10 ml. Der auf dem Bauch in Fußtiefstellung liegende Patient wurde durch Kippen des Untersuchungstisches um die Längsachse gedreht. Dabei wurden Aufnahmen im seitlichen, a.p. und schrägen Strahlengang angefertigt. Für die vorliegende Auswertung wurden nur die a.p. und streng seitlichen Aufnahmen ausgesucht, die schrägen Projektionen blieben unberücksichtigt, da sie um unterschiedliche Winkel gedreht und somit untereinander nicht vergleichbar waren.

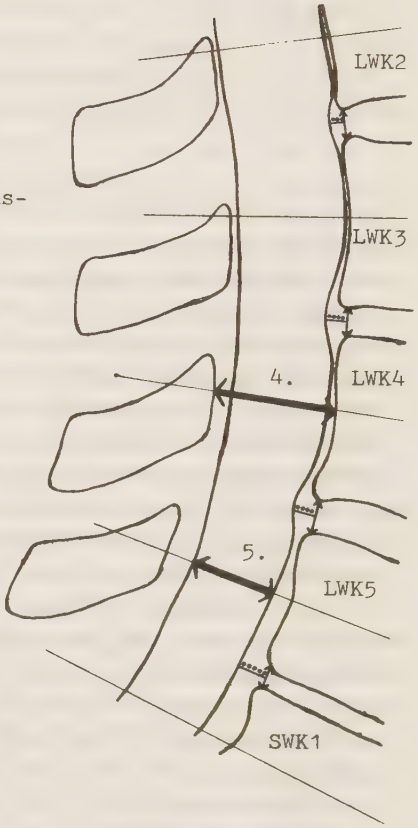
AUSWERTUNG DER MYELOGRAMME

Alle Myelogramme wurden zunächst auf Durchschlagpapier abgepaust und mit dem Namen, Geburtstag und Untersuchungstag des Patienten beschriftet. Dann wurden bei den a.p.-Aufnahmen die Umrisse der Wirbelkörper und Bogenwurzeln abgezeichnet und zur Orientierung ihre Nummern (LWK1, LWK2, LWK3 ..) markiert. Die Seiten Rechts und Links wurden festgelegt. In dieses Wirbelsäulengerüst wurde das als Umriß eingezeichnet, was von jedem Subarachnoidalraum durch das KM dargestellt wurde. Dabei wurden die Länge der dargestellten Wurzeltaschen und ihre Abgangswinkel gemessen und der Interpedunkularabstand, die Breite des Wirbelkörpers und die Breite des KM- bandes festgestellt.
Für die seitlichen Aufnahmen wurden ebenfalls die Umrisse der Wirbelkörper mit den dazugehörigen Nummern gezeichnet und die Intervertebralstrecke an der dem KM zugewandten Wirbelkante sowie der Abstand zwischen dem KM und dieser Intervertebralstrecke gemessen. Ferner wurde die seitliche Weite des foramen vertebrale und des darin gelegenen caudalen Endsacks bestimmt. Als Abschluß wurden der roentgenologische Befund und die myelografischen Besonderheiten (Abhebung des hinteren Längsbandes, Abbruch der Wurzeln, Bandscheibenprolaps usw.) notiert. Die Angaben erfolgen in Millimeter (mm) und gemäß der alten Gradeinteilung, nach der ein rechter Winkel 90° hat.

Abb. 1 a.p. - Aufnahme
transversale Diameter:

Abb. 2 seitliche Aufnahme
sagittale Diameter:





1. Breite des Lendenwirbelkörpers
2. Interpedunkularabstand
3. Breite des KM-bandes
α Wurzeltaschenabgangswinkel
β Wurzeltaschenabgangswinkel
4. Breite des Spinalkanals
5. Breite des KM-bandes
↕ Intervertebralstrecke
.... Periduralraum
A Abgangspunkt A

ERGEBNISSE

Zunächst wird über Alter und Geschlecht der Patienten berichtet. Dann folgt eine Darstellung des Kontrastmittelanstiegs. Des weiteren werden Ergebnisse von Knochen- und Weichteilmessungen vorgelegt. Es handelt sich dabei um:

für die a.p. Aufnahme

Knochenmessungen:
- Übergangsvariationen
- Breite der Lendenwirbelkörper
- Interpedunkularabstand

Weichteilmessungen:
- Breite des Kontrastmittelbandes
- Länge und Abgangswinkel } der Nervenwurzeltasche

für die seitliche Aufnahme

Knochenmessungen:
- Intervertebralstrecke

Weichteilmessungen:
- Periduralraum

Abstandsrelationen

Der Betrag einer Strecke wurde durch den Betrag einer anderen Strecke dividiert, d.h. es wurde das Größenverhältnis zweier Strecken beurteilt:

für die seitliche Aufnahme:
- Spinalkanalbreite zu Breite des KM- Bandes

für die a.p.-Aufnahme:
- Breite des Wirbelkörpers zu Breite des KM- Bandes
- Interpedunkularabstand zu Breite des KM- Bandes.

Es wird darauf hingewiesen, daß es sich in dieser Arbeit um Werte handelt, die aufgrund des Röntgenbildes ermittelt und nicht in anatomische Größen umgerechnet wurden.

Alter und Geschlecht

Für die 600 Patienten wurde das Alter am Untersuchungstag ausgerechnet. Es waren insgesamt 223 Frauen, das entspricht 37,2% und 377 Männer, das entspricht 62,8%. Der jüngste Patient war 11 Jahre, die älteste Patientin 76 Jahre alt.

In der Altersgruppe

von 10-19 Jahren waren es 4 Patienten, das entspricht 0,7%;
von 20-29 Jahren waren es 32 Patienten, das entspricht 5,3%;
von 30-39 Jahren waren es 176 Patienten, das entspricht 29,3%;
von 40-49 Jahren waren es 200 Patienten, das entspricht 33,3%;
von 50-59 Jahren waren es 132 Patienten, das entspricht 22,0%;
von 60-69 Jahren waren es 49 Patienten, das entspricht 8,2%;
über 70 Jahre waren es 7 Patienten, das entspricht 1,2%.

Tabelle II: Altersverteilung, Anzahl der Patienten in Prozenten bezogen auf das Gesamtkollektiv von 600 Patienten

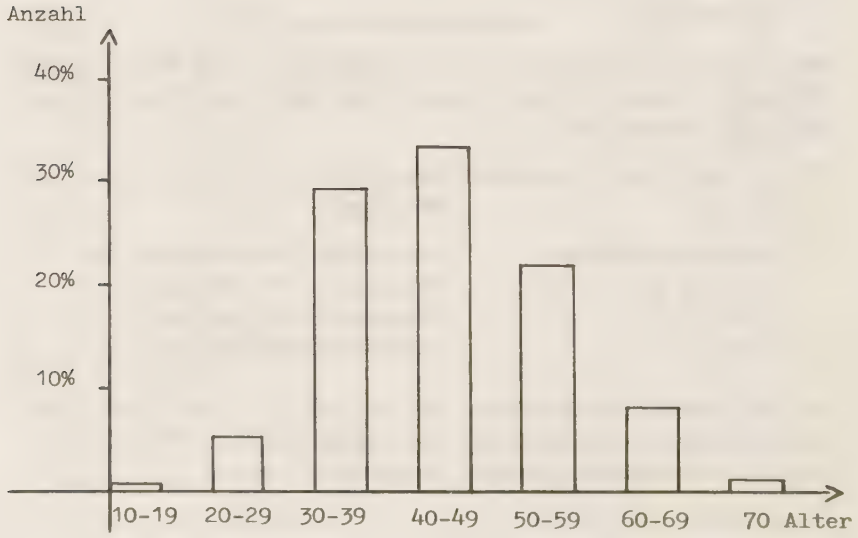
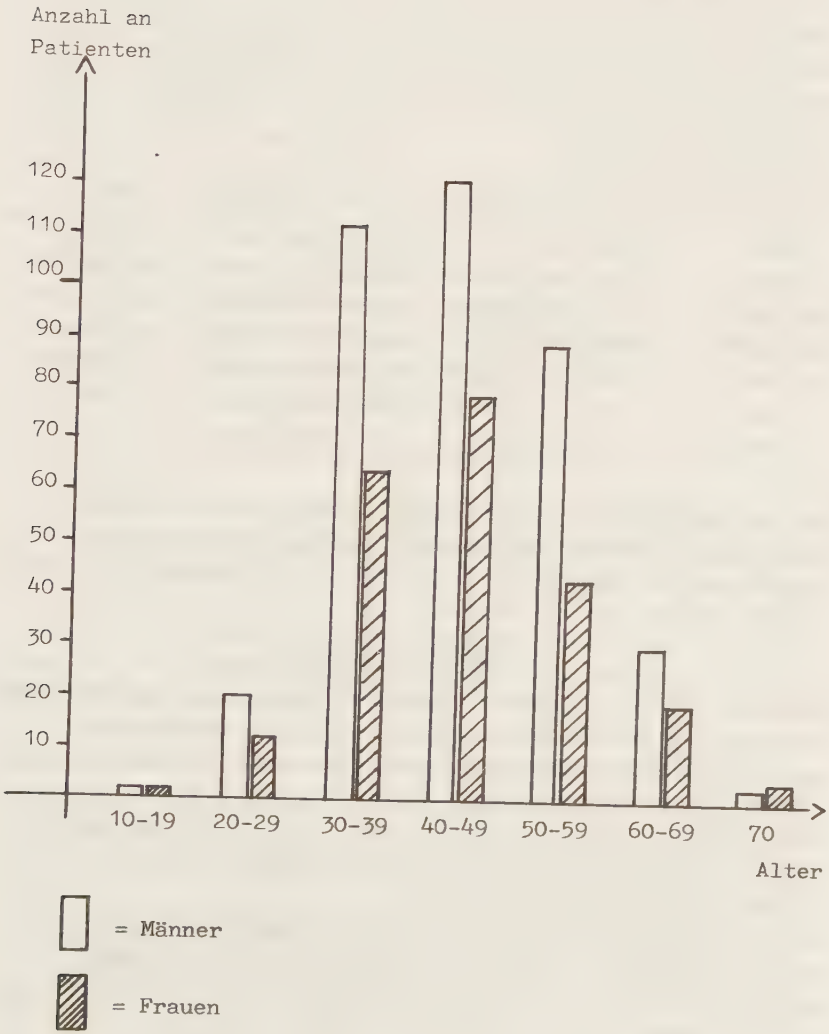


Tabelle III: Altersverteilung aufgetrennt nach Geschlecht
(Anzahl der Patienten in absoluten Zahlenwerten)



Kontrastmittelanstieg

Die Höhe des Kontrastmittelanstiegs ist von verschiedenen Faktoren abhängig, unter anderem von der Menge des Kontrastmittels, von der Weite des caudalen Endsacks, von der Punktionsstelle und von der Injektionstechnik, d.h. von der Geschwindigkeit der Applikation des KMs. Bei den fußtiefliegenden Patienten bildet das KM im Duralsack einen Spiegel: der am weitesten cranial gelegene Punkt des Spiegels läßt sich im Seitbild lokalisieren.

Tabelle IV: Kontrastmittelanstieg (bei 553 Beobachtungen)

2 mal	bis zum BWK 9, das entspricht	0,36%,
2 mal	bis zum BWK 11, das entspricht	0,36%,
176 mal	bis zum BWK 12, das entspricht	31,8 %,
264 mal	bis zum LWK 1, das entspricht	47,7 %,
93 mal	bis zum LWK 2, das entspricht	16,8 %,
15 mal	bis zum LWK 3, das entspricht	2,7 %,
1 mal	bis zum LWK 4, das entspricht	0,18%.

Da das Röntgenbild den Spinalkanal gewöhnlich nur bis zur Höhe des 12. BWKs zeigt, kann ein Anstieg des Kontrastmittels über diese Höhe hinaus nicht ausgeschlossen werden.

Übergangsvariationen

Darunter werden in dieser Arbeit die Variationen der Übergänge zwischen der thorakalen, lumbalen und sakralen Wirbelsäule verstanden. In unserem Krankengut fanden sich 52 dieser Variationen, das entspricht einer Häufigkeit von 8,7%. In einigen (nicht in den 8,7% enthaltenen) Fällen waren die Übergänge und somit auch die Nummerierung der Wirbelkörper unklar. Die Variationen zeigten sich wie folgt:
bei 10 Patienten (1,7%) fanden sich rudimentäre Rippen am BWK 12 oder LWK 1. 3 Patienten (0,5%) hatten eine viergliedrige Lendenwirbelsäule, und in 39 Fällen (6,5%) fand sich ein teillumbalisierter 1. SWK oder ein 6. LWK.

Breite der Lendenwirbelkörper

Die Wirbelkörperbreite wurde in der Mitte des Wirbelkörpers gemessen, das ist die schmalste Stelle des Wirbelkörpers (siehe Abb. 1).
Beim LWK 5 wurde die Breite unten am Übergang zum os sacrum gemessen. Diese Strecke zwischen den beiden aufsteigenden Ästen des os sacrum ist um einiges breiter als die Mittenbreite des LWK 5. Sie ließ sich aber wegen mangelnder Bildqualität, Abknickung der LWS zum Sakrum hin und individueller Skoliosen meist schlecht messen. Die Tabelle V gibt die Anzahl (n) der Messungen, den Mittelwert ($\bar{x}$) in mm, die Standardabweichung (s) und den Minimal- und Maximalwert für die betreffende Wirbelhöhe an.
Die Wirbelkörper werden nach caudal immer breiter. Anhand der Standardabweichung und der stark differierenden Minimum-Maximumwerte läßt sich zeigen, daß die Meßwerte breit streuen, besonders bei den unteren Wirbelkörpern.

Interpedunkularabstand

Der Bogenwurzelabstand gilt als verläßliches Maß für die Breite des Spinalkanals. Gemessen wurde die kürzeste Entfernung zwischen den medialen Seiten der Bogenwurzeln (siehe Abb. 1). Die Tabelle V zeigt, daß die Bogenwurzeln nach caudal immer weiter auseinanderrücken, d.h. daß der Spinalkanal an Weite gewinnt. Die Werte hierfür schwanken nicht so sehr wie die der Wirbelkörperbreite.

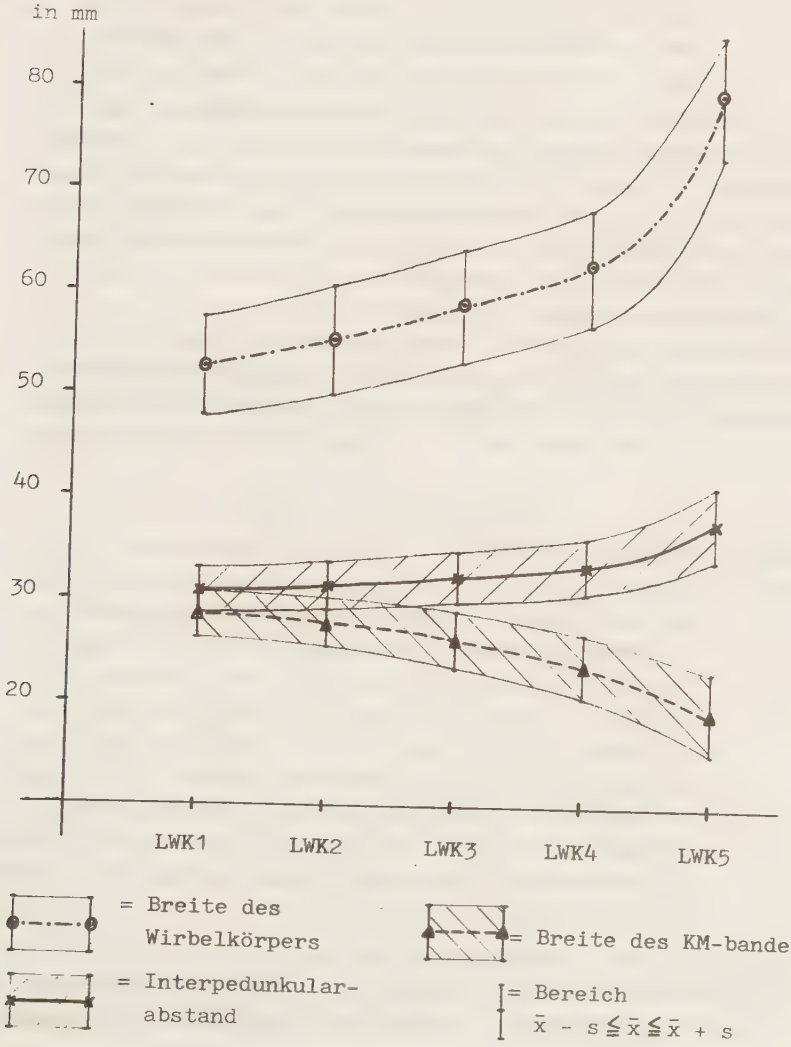
Breite des Kontrastmittelbandes

Das Kontrastmittel verteilt sich im Subarachnoidalraum; die Breite des KM-bandes ist somit ein Maß für die Breite des caudalen Endsacks. Sie wurde auf derselben Höhe wie die Wirbelkörperbreite gemessen. Wenn in der Mitte des Wirbelkörpers das KM-band durch einen Nervenwurzelabgang verbreitert erschien, wurde das KM-band unterhalb des nächsthöheren Nervenwurzelabgangs gemessen.
Die Tabelle V zeigt, wie die Breite des KM-bandes nach unten zu abnimmt. Die Werte streuen weniger als die der Wirbelkörperbreiten.

Tabelle V: in mm	LWK 1	LWK 2	LWK 3	LWK 4	LWK 5
Breite des Wirbelkörpers					
n = Anzahl	322	561	600	595	596
$\bar{x}$ = Mittelwert	52,66	55,3	58,93	62,64	79,83
s = Standardabweichung	4,9	5,47	5,58	5,65	6,04
Minimum	40	42	46	47	58
Maximum	68	73	76	78	100
Interpedunkularabstand					
n	328	560	600	594	561
$\bar{x}$	30,83	31,39	32,38	33,50	37,64
s	2,34	2,43	2,51	2,62	3,52
Minimum	25	24	27	27	28
Maximum	36	38	40	43	50
Breite des KM-bandes					
n	323	560	600	595	595
$\bar{x}$	28,31	27,78	26,15	23,7	19,12
s	2,24	2,48	2,8	3,1	3,98
Minimum	20	18	18	15	8
Maximum	36	35	35	36	38

Die Abbildung 3 veranschaulicht das Verhalten der Mittelwerte von Wirbelkörperbreite, Interpedunkularabstand, KM-bandbreite und der zugehörigen einfachen Standardabweichungen in Bezug auf die Wirbelhöhe.

Abb. 3: Verhalten der Mittelwerte und zugehörigen Standardabweichungen



Länge der Nervenwurzeltaschen

Vorgehen: (Abb. 1) Man zieht zu der nächstgelegenen waagrechten Wirbelkörperdeckplatte eine Parallele durch den Abgang der Wurzeltasche. Diese Waagrechte ist ungefähr parallel zu der Verbindungslinie der distalsten Punkte der Bogenwurzeln und stellt annähernd das Lot auf die Mittellinie des Rückenmarks bzw. des caudalen Endsacks dar. Ab dem Abgangspunkt A wurde die Wurzeltasche mittels Bandmaß gemessen.

In der Tabelle VI sind die Anzahl (n) der Messungen, der Mittelwert ($\bar{x}$), die Standardabweichung (s) und die Minimum-Maximumwerte aufgelistet. Die pathologischen Wurzeln gingen nicht in die Mittelwertsberechnung ein. Erst ab LWK 2 oder LWK 3 stellten sich die Nervenwurzeln und das KM-band genügend kontrastreich dar. In den höheren Bereichen ist deshalb die Zahl der Messungen niedriger.
Im Durchschnitt nehmen die Wurzeltaschen an Länge bis zur Wurzel S1 zu, um mit S2 und S3 wieder abzunehmen. Oftmals waren die Wurzeln S2 und S3 gar nicht dargestellt. Die längste dargestellte Wurzeltasche war eine S1-Wurzel mit 35 mm.

Wurzeltaschenabgangswinkel

Vorgehen: (Abb. 1) Man legt eine Gerade durch den Abgangspunkt A der Wurzeltasche und einen Punkt, der 5 bis 10 mm davon entfernt auf dem inneren, dem Endsack zugewandten Teil der Nervenwurzelscheide liegt. Es ist ratsam, den Punkt nicht mehr als 10 mm von A entfernt zu wählen, um einheitlich nur den steileren Teil der Wurzelscheide zu messen, denn weiter distal ziehen die Wurzeln in einem stumpferen Winkel um die Bogenwurzeln herum zu ihren foramina intervertebralia.
Es wurde der Winkel zwischen der Parallelen zur Wirbelkörperdeckplatte und der Geraden auf dem inneren Teil der Nervenwurzelscheide gemessen.

Die Abgangswinkel nehmen bis zu den Wurzeln L4 ab, um von dort bis S3 wieder zuzunehmen. Hierzu ist zu erwähnen, daß unter den ausgewerteten Myelogrammen erhebliche Unterschiede bestanden.

Die Werte für die einzelnen Wurzelhöhen streuen sehr, was die großen Standardabweichungen und die weit auseinanderliegenden Minimum- Maximumwerte erklärt. Man konnte aber beobachten, daß bei den einzelnen Patienten die höheren Wurzeln steil, jeweils individuell schwankend die Wurzeln L3, L4 oder L5 aber flacher und weiter unten die Wurzeln L5, S1 und S2 wieder steiler abgingen.
In einer Gruppe von Wirbelsäulen verliefen die Wurzeltaschen insgesamt im etwas spitzeren Winkel, in einer anderen im stumpferen. Es gab auch Zwischentypen. Ganz allgemein wurde in jeder Wirbelsäule ein Verlaufstyp beibehalten.
Zusätzlich wurde die Differenz zwischen dem rechten und dem linken Winkel auf der Wurzelhöhe L1 und auch für die folgenden gebildet. Daraus errechnete sich die durchschnittliche Differenz (dD). Man konnte aber nicht immer eine Differenz errechnen, weil entweder nur eine Wurzel dargestellt war oder eine pathologische unberücksichtigt bleiben mußte.
Man kann nicht sagen, daß beide Wurzeln einer Höhe im exakt gleichen Winkel abgehen.

Tabelle VI:

Wurzeltaschenabgangswinkel in °

	L1	L2	L3	L4	L5	S1	S2	S3
n	108	911	1152	1140	832	890	714	51
$\bar{x}$	66,31	63,62	60,50	59,70	61,15	71,96	75,16	73,06
s	8,07	9,19	9,61	8,95	8,08	7,32	7,32	11,80
n^1	50	438	570	557	341	350	333	25
dD	4,3	4,8	4,9	4,9	5,1	4,5	4,7	5,4
Minimum	48	30	24	35	33	38	42	42
Maximum	83	86	87	87	82	88	90	86

Wurzeltaschenlänge in mm

n	110	924	1157	1140	839	891	732	54
$\bar{x}$	6,35	6,95	7,68	8,51	10,44	13,46	11,11	6,94
s	1,84	2,33	2,7	3,05	5,40	5,15	5,02	5,36
Minimum	1	1	1	1	2	2	1	1
Maximum	10	17	17	22	28	35	30	24

n = Anzahl

$\bar{x}$ = Mittelwert

s = Standardabweichung

n^1 = Anzahl der Differenzen

dD = Durchschnitt aller Differenzen, die man jeweils zwischen dem rechten und linken Winkel einer Wirbelkörperhöhe mißt.

Intervertebralstrecke

Die Intervertebralstrecke ist der Abstand zwischen den beiden benachbarten knöchernen Wirbelkörperdeckplatten, gemessen an der dem KM zugewandten Seite und entspricht ungefähr der Höhe der Bandscheibe (siehe Abb. 2).
Wenn starke Osteophyten auftreten, wird durch sie die Intervertebralstrecke verkleinert. In einem solchen Fall ist zu der Intervertebralstrecke das vermutete Ausmaß der Osteophyten hinzugezählt worden.
Zunächst wurde der Mittelwert aus den nicht- pathologischen Intervertebralstrecken berechnet. Tabelle VII zeigt die Ergebnisse. Normalerweise nimmt die Bandscheibenhöhe in der LWS bis zur LWK4/ 5-Bandscheibe zu. Die lumbosakrale ist niedriger.
Getrennt davon wurde eine Aufstellung für die pathologischen Bandscheiben gemacht (Tab. VII). In einem Großteil der pathologischen Fälle war der Intervertebralraum eingesunken, d.h. die Bandscheibe war aus ihrer ursprünglichen Position herausgerutscht und verdrängte unter Umständen die ventrale Duralsackwand. Die Werte streuen hier wie bei den normalen Bandscheiben sehr, so daß man bei der Betrachtung einer einzelnen Bandscheibe schwerlich entscheiden kann, ob sie pathologisch ist oder nicht. Man wird vor allem beachten müssen, ob sie gegenüber den höherliegenden Bandscheiben verschmälert ist.

Periduralraum

Der Peri-(=Epi-)duralraum ist der Abstand zwischen dem KM-band und der Mitte der Intervertebralstrecke (siehe Abb. 2). Er enthält Venenplexus, Fettgewebe, Lymphspalten und eventuell einen Bandscheibenvorfall. Das Ausmaß des Periduralraums ist abhängig von der Weite des Spinalkanals und des caudalen Endsacks. Wenn in einem schmalen Spinalkanal ein breiter Duralsack liegt, existiert dazwischen nur ein spaltförmiger Periduralraum. Dann beobachtet man in der Höhe der Zwischenwirbelscheiben wellenförmige Abhebungen des hinteren Längsbandes, die jedoch auch von dem Funktionszustand der LWS abhängen und denen keine besondere Bedeutung zukommt.

Tabelle VII: in mm

Intervertebralstrecke	LWK 1/2	LWK 2/3	LWK 3/4	LWK 4/5	LWK 5/SWK 1
normale Fälle					
n	16	286	526	309	322
$\bar{x}$	10,06	11,54	11,75	11,87	9,5
s	2,24	2,16	2,27	2,32	2,07
Minimum	7	5	5	6	4
Maximum	15	18	17	20	14
pathologische Fälle					
n	-	-	29	273	227
$\bar{x}$	-	-	9,52	10,12	8,97
s	-	-	1,99	2,45	2,42
Minimum	-	-	4	5	3
Maximum	-	-	13	16	15

Tabelle VIII: in mm	LWK 1/2	LWK 2/3	LWK 3/4	LWK 4/5	LWK 5/SWK 1
Peri(=Epi-)duralraum					
normale Fälle					
n	16	286	526	309	322
$\bar{x}$	4,71	3,52	4,3	5,88	8,74
s	2,39	1,38	1,65	1,95	2,95
Abhebung des hinteren Längsbandes in ... % der Fälle	2,7 %	47,7 %	92,5 %	97 %	91,5 %
keine Abhebung des hinteren Längsbandes	97,3 %	52,3 %	7,5 %	3 %	Rest: nicht dargestellt
pathologische Fälle					
n	-	-	29	273	227
$\bar{x}$	-	-	8,17	9,41	10,44
s	-	-	3,05	3,04	3,2

Wenn die ventrale Duralsackwand nicht von den Wirbeln und Zwischenstücken abgehoben war, war der Periduralraum annähernd 0 mm groß und wurde nicht gemessen.
Die Tabelle VIII belegt mit Zahlenwerten, daß der Periduralraum nach caudal an Weite gewinnt. In Höhe der lumbosakralen Bandscheibe weitet sich der Periduralraum besonders. Die Tabelle VIII gibt außerdem an, in wieviel Prozent der Fälle eine Abhebung des hinteren Längsbandes vorlag. Zusätzlich wurde der Mittelwert der Weite des Periduralraums für pathologische Höhen berechnet. Hier imprimiert die prolabierte Bandscheibe den Duralsack deutlich. Der Unterschied zwischen der übermäßigen pathologischen und der normalen Weite des Periduralraums bei LWK3/4 und 4/5 wird erkennbar. Bei der lumbosakralen Bandscheibe wird dieser Unterschied nicht so deutlich, denn aus den Messungen zur Breite des KM-bandes sieht man, daß der Caudasack von der Wand des knöchernen Spinalkanals zurückweicht und somit der Periduralraum am lumbosakralen Übergang schon physiologischerweise verbreitert ist. Wenn der Duralsack nur noch die mittleren Teile des Wirbelkanals ausfüllt, kann sich auch ein ziemlich großer Prolaps ausbreiten, ohne daß er den Duralsack deformiert.

Abstandsrelationen

Es erschien sinnvoll, zwei Strecken ins Verhältnis zueinander zu setzen, um den in jeder Strecke enthaltenen Projektionsfaktor herauszudividieren. Auf diese Weise erhält man aus zwei roentgenologischen Strecken eine anatomische Relation. Das Ergebnis der Verhältnisbildung kann man auch als Multiplikationsfaktor auffassen. Zur Erläuterung soll ein Beispiel dienen: Die KM-breite multipliziert mit dem Multiplikationsfaktor ergibt die Breite des Spinalkanals. Anders ausgedrückt gibt dieser Multiplikationsfaktor an, wievielfach der Spinalkanal breiter als das KM-band ist. Bei kleinem Verhältnis, d.h. kleinem Multiplikationsfaktor wie bei der Megacauda ist der Spinalkanal nur ein geringes breiter als das KM-band.
Die Schaubilder (Abb. 4 bis 10) listen jedes einzelne Verhältnis auf. Dabei bekam nicht jedes Verhältnis einen Platz

auf der Abszisse, sondern die Verhältnisse wurden in Bereiche eingeordnet. Zum Beispiel wurden die ganz kleinen und kleinen Verhältnisse in die Bereiche 1,0 - 1,04 und 1,05 - 1,09 und 1,1 - 1,14 und 1,15 - 1,19 eingereiht. Die Ordinate gibt an, wieviele Verhältnisse sich in einem Bereich befinden.
In den Schaubildern (Abb. 4 bis 10) befinden sich die Megacaudafälle in den Bereichen mit kleinen Verhältnissen. Da der Spinalkanal nach distal größer und die Breite des KM-bandes im Subarachnoidalraum kleiner wird, wird das Verhältnis immer größer. Trotzdem liegen die Megacaudafälle aber immer in den Bereichen mit kleinen Verhältnissen. Allerdings lassen sich keine genauen Bereiche für eine Megacauda definieren.

Die Relation der Spinalkanalbreite zur Breite des KM-bandes im seitlichen Strahlengang:

Die Spinalkanalbreite ist die Strecke von der Mitte der dorsalen Wirbelkörperkante bis zu dem weitesten ventral gelegenen Punkt auf dem Prozessus spinosus (siehe Abb. 2). Diese Strecke sollte möglichst parallel zu den zugehörigen waagrechten Wirbelkörperdeckplatten sein. Die Breite des KM-bandes wurde an genau derselben Stelle wie die Spinalkanalweite gemessen. Das KM-band stellt die seitliche Weite des Durasacks dar.
Generell kann man sagen, daß der Lendenwirbelkanal im sagittalen Ausmaß bei LWK 3 und LWK 4 eine Taille hat, d.h. daß die Breite bis etwa LWK3/4 abnimmt und in distaler Richtung wieder ein wenig zunimmt, während das KM-band nach unten zu an Breite verliert. Mit zunehmender Wirbelkörpernummer wird das Verhältnis Spinalkanal zu KM-band größer, dies wird vom LWK 3 ab besonders deutlich (Tabelle IX, Abb. 4 und 5).

Die Relation der Wirbelkörperbreite zur Breite des KM-bandes in der a.p. Aufnahme:

Weil die Breite der Wirbelkörper zu- und die des KM-bandes abnimmt, werden auch hier die Verhältnisse nach caudal größer (Tabelle IX, Abb. 6 und 7). Da die Werte großen Schwankungen unterlagen und sich keine Gauß'sche Normalverteilungskurve ergab, wurde auf die Anfertigung eines Schaubildes für LWK 5 verzichtet.

Die Relation des Interpedunkularabstandes zur Breite des KM-bandes in der a.p. Aufnahme:

Die Bogenwurzeln rücken nach caudal weiter auseinander, während sich das KM-band verschmälert, deshalb werden auch hier die Verhältnisse größer (Tabelle IX, Abb. 8, 9 und 10).
Bei den vermuteten Megacaudafällen nähert sich das Verhätnis dem Wert Eins, da das KM-band nicht schmäler wird, sondern fast den gesamten Wirbelkanal ausfüllt.

Tabelle IX:

Seitlicher Strahlengang		Relation Spinalkanalbreite zur Breite des KM-bandes					
		LWK 1	LWK 2	LWK 3	LWK 4	LWK 5	SWK 1
Anzahl	n	15	92	130	133	124	59
Mittelwert	$\bar{x}$	1,16	1,19	1,25	1,37	1,51	1,67
Standardabweichung	s	0,07	0,1	0,13	0,17	0,22	0,27
a.p. Strahlengang		Relation Wirbelkörperbreite zur Breite des KM-bandes					
Anzahl	n	322	560	600	594	594	
Mittelwert	$\bar{x}$	1,87	2,01	2,27	2,69	4,35	
Standardabweichung	s	0,21	0,24	0,31	0,41	0,94	
Minimum		1,2	1,42	1,53	1,66	2,2	
Maximum		2,71	2,9	3,58	4,57	10,25	
		Relation Interpedunkularabstand zur Breite des KM-bandes					
Anzahl	n	323	560	600	594	559	
Mittelwert	$\bar{x}$	1,09	1,14	1,24	1,43	2,03	
Standardabweichung	s	0,07	0,08	0,11	0,17	0,45	
Minimum		1,0	1,0	1,03	1,08	1,14	
Maximum		1,34	1,69	1,73	2,2	4,88	

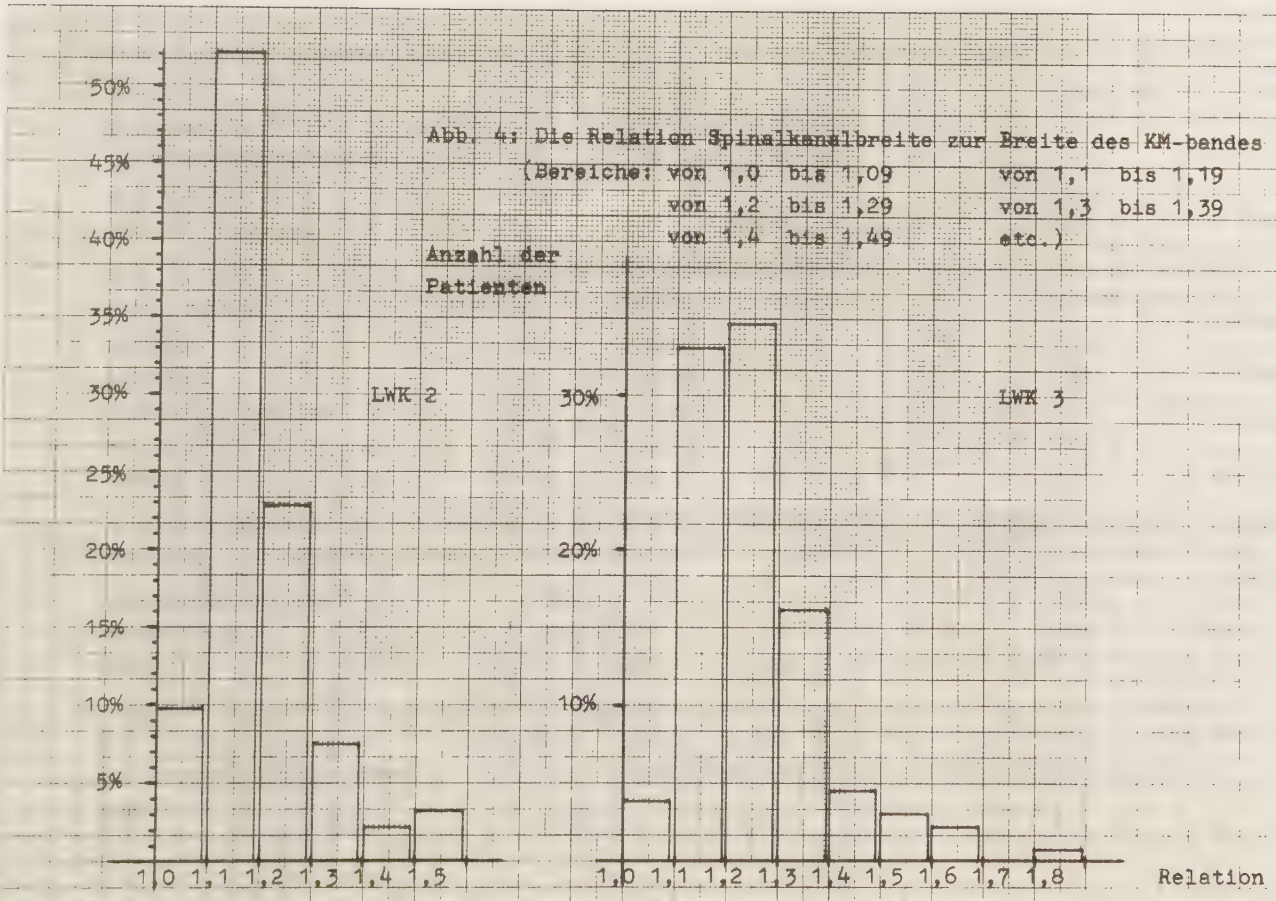


Abb. 4: Die Relation Spinalkanalbreite zur Breite des KM-bandes
(Bereiche: von 1,0 bis 1,09 von 1,1 bis 1,19
von 1,2 bis 1,29 von 1,3 bis 1,39
von 1,4 bis 1,49 etc.)
Anzahl der Patienten
50%
45%
40%
35%
30%
25%
20%
15%
10%
5%
LWK 2
LWK 3
1,0 1,1 1,2 1,3 1,4 1,5
1,0 1,1 1,2 1,3 1,4 1,5 1,6 1,7 1,8
Relation

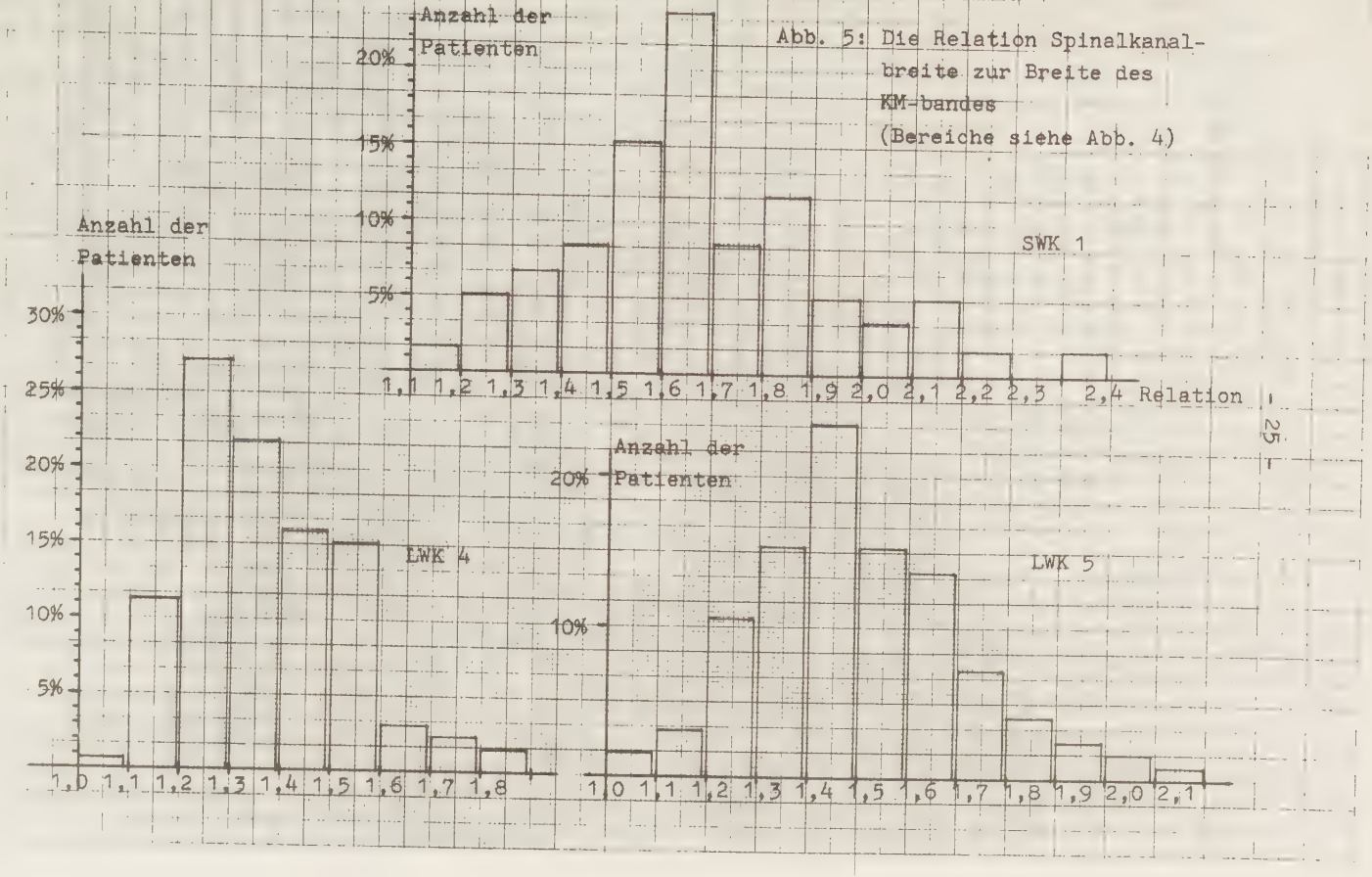


Abb. 5: Die Relation Spinalkanalbreite zur Breite des KM-bandes
(Bereiche siehe Abb. 4)

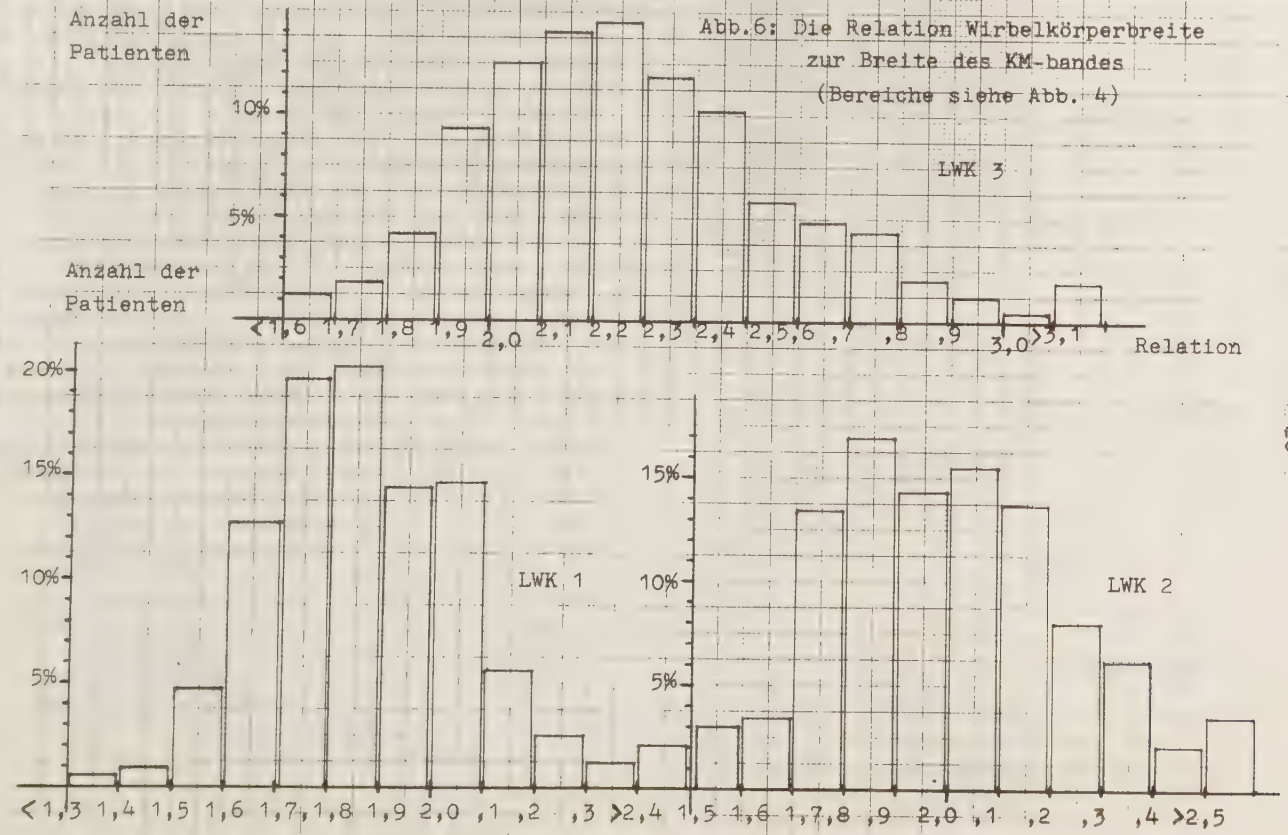


Abb.6: Die Relation Wirbelkörperbreite zur Breite des KM-bandes (Bereiche siehe Abb. 4)

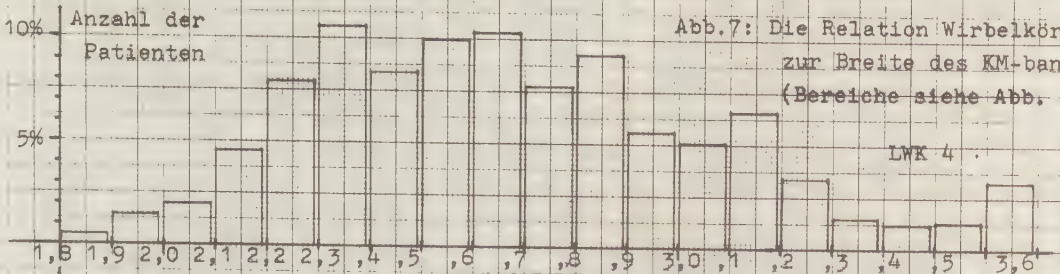


Abb.7: Die Relation Wirbelkörperbreite zur Breite des KM-bandes (Bereiche siehe Abb. 4)

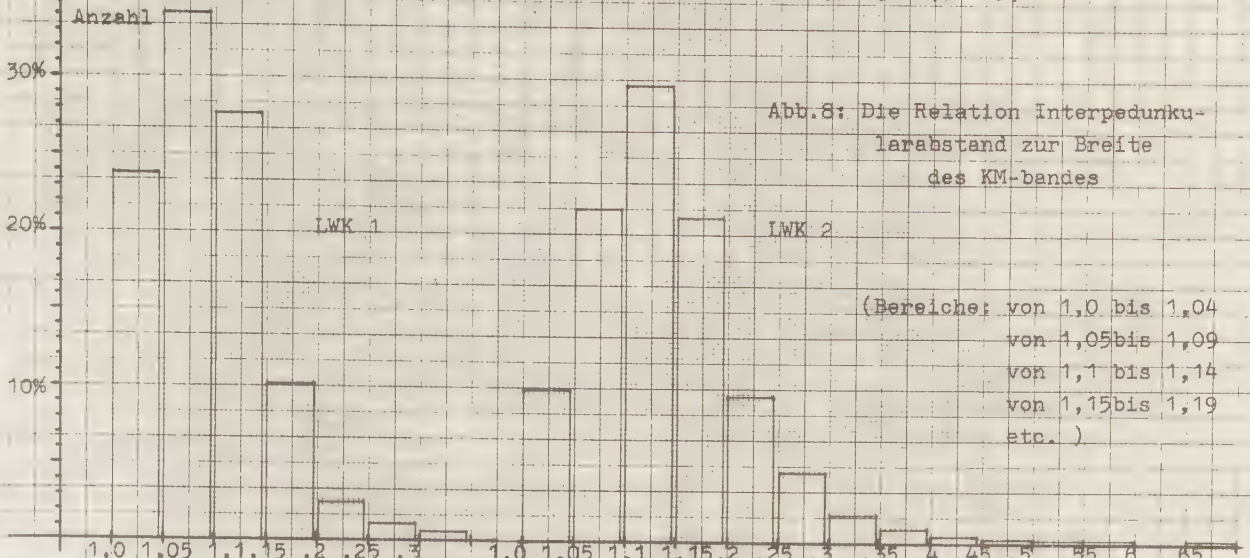


Abb.8: Die Relation Interpedunkularabstand zur Breite des KM-bandes

(Bereiche: von 1,0 bis 1,04
von 1,05 bis 1,09
von 1,1 bis 1,14
von 1,15 bis 1,19
etc.)

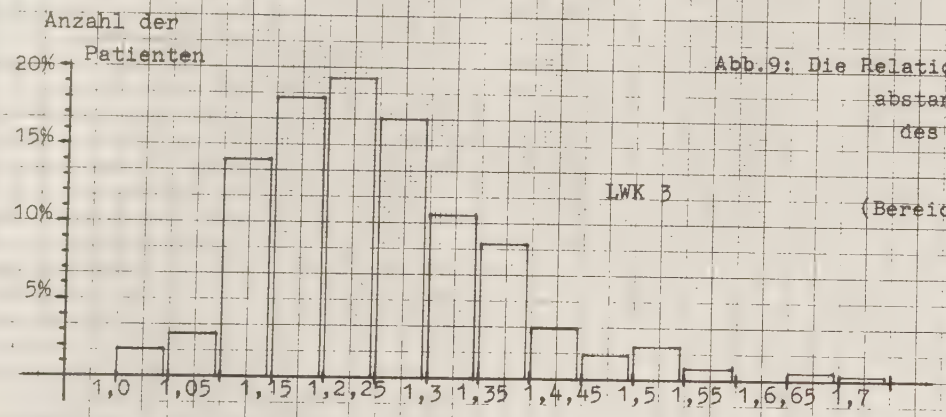


Abb.9: Die Relation Interpedunkular-abstand zur Breite des KM-bandes

(Bereiche siehe Abb. 8)

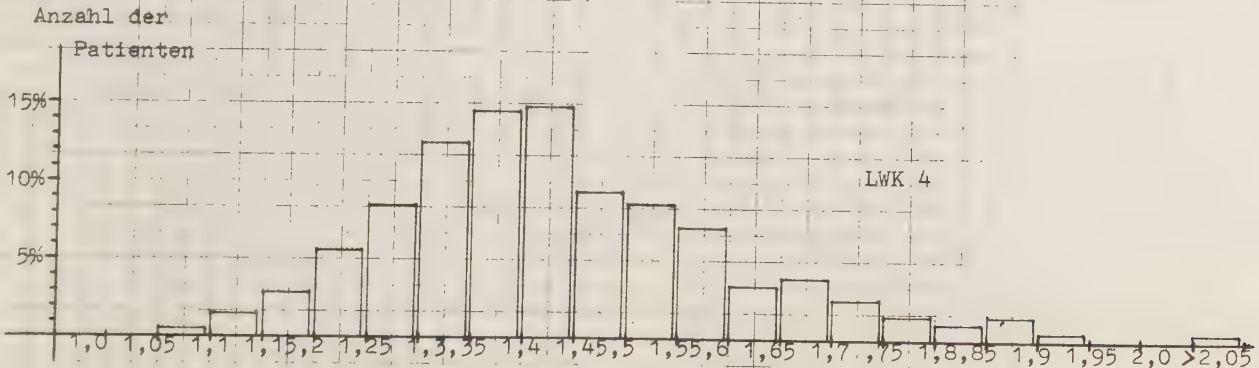
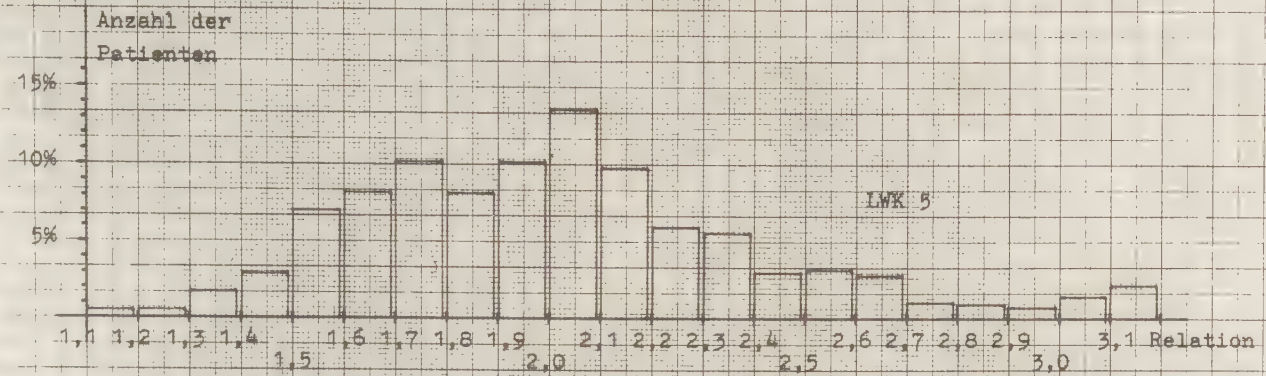


Abb. 10: Die Relation Interpedunkularabstand zur Breite des KM-bandes
(Bereiche: von 1,2 bis 1,29 von 1,3 bis 1,39
von 1,4 bis 1,49 von 1,5 bis 1,59
von 1,6 bis 1,69 etc.)



DISKUSSION

In der Literatur findet man nur sporadisch Ergebnisse von geometrischen Messungen an Myelogrammen. Im Rahmen dieser Arbeit werden Beobachtungen zu den anatomischen Variationen der LWS und des caudalen Endsackes vorgestellt. Die Messungen erfolgten an 600 Dimer- X- Myelogrammen.
Vom Standpunkt der Anatomie aus könnte man einwenden, daß Myelografien nur an kranken Personen vorgenommen wurden und der Bandscheibenvorfall die Ergebnisse verfälschen könnte (24). Dieser Nachteil wird zum Teil durch die große Fallzahl ausgeglichen und dadurch, daß versucht worden ist, pathologische Stellen unberücksichtigt zu lassen.
Im folgenden werden die eigenen Ergebnisse denen anderer Autoren gegenübergestellt. Die Tabelle X zeigt die Altersverteilung der eigenen Fälle im Vergleich zu denen im Schrifttum.

Tabelle X: Altersverteilung in Prozenten

Jahre	<30	30-39	40-49	≥ 50
eigene Werte	6,7	29,3	33,3	31,4
Ahlgren (2)	14,5	35,1	29,1	21,4
Otto (28)	8,6	17,8	35,2	38,3
Thomalske (37)	8,8	31,3	33,1	26,8

Das Krankengut der vorliegenden Arbeit teilte sich in 37,2 % Frauen und 62,8 % Männer, bei Ahlgren sind es 43,6 % Frauen und 56,5 % Männer. Die Altersverteilung ist bei den verschiedenen Untersuchern ähnlich.
Der Kontrastmittelanstieg war bei den von uns ausgewerteten Myelogrammen (Tab. IV) höher als bei denen anderer Autoren, da mehr Kontrastmittel angewendet worden war (1, 14, 27). Bei Ortner (27) erreicht das KM in 54 % die Höhe LWK 3, in 35,3 % die Höhe LWK 2 und in 10,6 % die Höhe LWK 1 oder eine darüberliegende. Auch bei anderen Verfassern sind lediglich die unteren Myelogrammabschnitte genügend kontrastreich dargestellt. Die KM-straße und die Nervenwurzeltaschen in den LWK-etagen 1 und 2 sind oft ungenügend abgebildet und daher nicht auswertbar (5, 24). Die Tatsache, daß die Anzahl der

Messungen für jedes Segment kleiner ist als die Anzahl der untersuchten Patienten, läßt sich zum Teil durch die unscharfe KM-abbildung in den höheren Etagen und zum Teil durch die bewußt eliminierten pathologischen Stellen in den tieferen Etagen erklären.
Kautzky, Wellauer und Wright beschreiben an der Wirbelsäule fünf Regionengrenzen: die okzipito- zervikale, zervikothorakale, thorako- lumbale, lumbo- sakrale und sakrocaudale. Nur bei etwa 40 % aller Menschen glauben die Autoren, daß diese Grenzen den anatomischen Gegebenheiten entsprechen. Bei den übrigen beobachte man eine Verschiebung der Grenzen um einen Wirbel nach oben oder unten (41, 42). Bei der eigenen Untersuchung wurden nur die thorako- lumbalen und lumbo- sakralen Übergangsvariationen berücksichtigt, sie traten mit einer Häufigkeit von 8,7 % auf. Es sind im einzelnen 10 Patienten (1,7 %) mit rudimentären Rippen am BWK 12 oder LWK 1, 3 Patienten (0,5 %)mit viergliederiger Lendenwirbelsäule und 39 Patienten (6,5 %) mit teillumbalisiertem 1. SWK, teilsakralisiertem 5. LWK oder einem 6. LWK.

Der Abbildungsmaßstab hängt ab von der Entfernung zwischen dem Fokus der Röhre und dem Film sowie dem Abstand von Objekt und Film (31). Jirout benutzt Umrechnungsformeln und -tabellen nach Dr. Slaba, mit deren Hilfe man den radiologisch gemessenen in den anatomischen Wert umwandelt (20).
Davatchi (9) nennt einen Abbildungskoeffizienten von ca. 1,3 für den Apparat Polytome; bei Vignon (39) findet man eine Korrelationstafel. Davatchi, Hinck und Vignon haben einen Bleimaßstab auf das Röntgenbild mit aufgenommen und anhand des Maßstabes die wahren anatomischen Werte ausgerechnet (8, 9, 16, 39). Bei unserer retrospektiven Studie konnte der Vergrößerungsfaktor der einzelnen Röntgenbilder nicht mehr festgestellt werden; es wurde infolgedessen ganz auf die Umrechnung in anatomische Werte verzichtet. Vom Standpunkt der Anatomie ist das ein Nachteil. Verwendet man aber die in dieser Arbeit vorliegenden Werte bei der Betrachtung von Dimer- X- Myelogrammen, so umgeht man die Schwierigkeit der Umrechnung. Des weiteren ist einzuwenden, daß der vernachlässigte Abbildungsfaktor nicht bei jedem Patienten gleich war. In die Darstellung der Strecken gingen also auch

noch die individuell unterschiedlichen Abbildungsfaktoren ein. Dieser Mangel wurde jedoch durch konstante Aufnahmebedingungen und die Wahl eines großen Patientenkollektivs gemildert. Die Abbildungskoeffizienten schwanken nur wenig; dagegen variieren die Größen der einzelnen Lendenwirbelsäulen viel mehr.
Als Ergebnisse, die nicht durch Abbildungsfaktoren beeinflußt sind und die sowohl für die anatomischen als auch für die radiologischen Messungen gelten, empfehlen sich die Abstandsrelationen.

Bei der Messung der verschiedenen Strecken ist beobachtet worden, daß alle Messungen enormen Streuungen unterliegen. Das zeigt sich an den differierenden Minimum- Maximum-Werten und den hohen Standardabweichungen. Insbesondere variieren die Knochenmessungen mehr als die Weichteilmessungen. Kautzky schreibt über das normale Myelogramm, daß im lumbalen Spinalkanal die Weite des Durasacks individuell sehr unterschiedlich ist. Dies sei nicht nur durch die individuell verschiedene Weite des Spinalkanals oder den Funktionszustand der LWS bedingt, sondern auch durch die Dicke des Extraduralraums, die vom Füllungszustand der epiduralen Venenplexus abhängt, die ihrerseits mit den paravertebralen Venenplexus kommunizieren (10, 21, 27). Auch Capesius und Babin heben die enormen Variationen in der Ausdehnung des Spinalkanals und des Durasacks hervor (5).

Die Wirbelkörper werden nach unten immer breiter; diese Aussage findet man allgemein bestätigt (32, 35, 41, 42). Die Messungen der Wirbelkörperbreiten, besonders die des LWK 5 am lumbosakralen Übergang ergeben stark streuende Werte. (Siehe Tabelle V).

Der Interpedunkularabstand gilt als Maß für die Breite des Spinalkanals (5, 29, 42). Allerdings geben Verbiest und Eisenstein auf Grund des Vergleichs der Standardabweichungen dem a.p.-Diameter als verläßlicherem Maß für den Spinalkanal den Vorzug gegenüber dem Interpedunkularabstand (11, 38). Unsere Werte lassen sich gut mit denen von Elsberg und Dyke vergleichen.

Tabelle XI: Durchschnittlicher Bogenwurzelabstand in mm

	LWK1	LWK2	LWK3	LWK4	LWK5
Elsberg und Dyke (41)	um 28	29	30	31	33
E.u.D. größter Abstand	um 34	um 33	um 35	um 35	um 39
eigene Werte	30,8	31,4	32,4	33,5	37,6
Schäfer (33)					um 33

Eisenstein kommt auf viel geringere Durchschnittswerte als alle anderen Beobachter (11).

Der Subarachnoidalraum verliert nach caudal an Weite; das ist eine allgemein anerkannte Beobachtung (5, 2o, 41). In dieser Auswertung finden sich folgende Durchschnittswerte für die Breite des KM-bandes in der a.p.-Aufnahme (sagittaler Diameter des Subarachnoidalraums): für LWK1 28,3 mm, für LWK2 27,8 mm, für LWK3 26,2 mm, für LWK4 23,7 mm und für LWK5 19,1 mm, jeweils in der Mitte der Wirbelkörper gemessen. Reinhart und Schölzel haben in der Mitte des LWK4 durchschnittlich 20,2 mm, in der Mitte des LWK5 18,5 mm und an der Oberkante des SWK1 15,5 mm gemessen (20). Sowohl bei Reinhart und Schölzel als auch bei uns handelt es sich um radiologisch erfaßte Dimensionen. Die Werte sind sich ähnlich. Die Mittelwerte von Key-Retzius und Malinowski sind deutlich kleiner (20). Es handelt sich bei diesen Angaben um echte anatomische Größen, während bei unseren noch ein vergrößernder Abbildungsfaktor enthalten ist. Selbst bei Berücksichtigung dieser Vergrößerung sind unsere Werte noch einiges höher.

Der 1. und der 2. Sakralnerv haben die längsten Wurzelscheiden. Zu diesem Schluß kommen auch andere Untersucher (32, 43). Der Abgangswinkel α : Seine Messung erschien sinnvoll, denn der Winkel β zwischen der Geraden auf dem inneren Schenkel der Nervenwurzelscheide und dem caudalen Endsack (siehe Abb.1) wird durch unterschiedliche Lordose und nicht immer exakt frontale Aufnahme mehr verfälscht als der Winkel α . Die zwei Wurzeln einer LWK-ebene gehen nicht in genau übereinstimmenden Winkel ab. Sie differieren um ungefähr 5 Grad. Otto (28)

erzielt ein ähnliches Ergebnis. Nach Capesius-Babins Feststellung (5) sind die Wurzeln L5 und S1 auf Grund ihres eher vertikalen längeren Verlaufs am besten sichtbar. Diese Autoren zeigen die Variationen in dem Modus des Nervenwurzelabgangs: es gibt hoch entspringende Wurzelscheiden mit mehr vertikalem, tief entspringende mit mehr horizontalem Verlauf und einen Typ, der dazwischen lokalisiert ist. Im Bereich einer Wirbelsäule wird aber im allgemeinen, wie auch unsere Ergebnisse bestätigen, ein Typ beibehalten.

Die Höhe der Zwischenwirbelscheibe beträgt nach Sartors Angaben etwa ein Drittel der Wirbelkörperhöhe, nach Wellauers durchschnittlich 10-12 mm (32, 41). Normalerweise nimmt die Höhe der Bandscheiben in der LWS bis zum LWK4 zu. Gemäß Sartors und Deckers Aussagen ist die lumbosakrale Bandscheibe physiologischerweise niedriger als die höher liegenden (10, 32). Unsere Untersuchungen erbrachten ähnliche Werte. Bei den Parametern Intervertebralstrecke und Periduralraum wurden in dieser Veröffentlichung Vergleiche zwischen normalen und pathologischen Befunden gezogen. Ebenso wie Wellauer behaupten wir, daß die Zwischenwirbelscheibe am häufigsten und stärksten verschmälert ist, die dem Sitz des Prolapses entspricht. Die Zwischenwirbelscheibe sei nur in 8 % der Bandscheibenvorfälle nicht verschmälert (41). Decker nennt als Grund für falsch- negative Myelogramminterpretationen den Intervertebralabstand LWK5/S1, der bei fast 30 % der Patienten nur 5-10 mm beträgt (10). Unsere Messungen der Intervertebralstrecke am lumbosakralen Übergang ergaben in Normalfällen durchschnittlich 9,5 mm, in pathologischen Fällen 8,7 mm. Ähnlich wie bei anderen Autoren ist auch bei uns kein deutlicher Unterschied wahrnehmbar.

Über den Periduralraum schreibt Wellauer: Die ventrale Wand des Duralsacks ist immer scharf konturiert, meist völlig flach, oft wellenförmig, wobei die Wellenlinie durch flache, aber immer scharf begrenzte Eindellungen auf Höhe der Zwischenwirbelscheiben zustande kommt. Solche Eindellungen sind leichte Protrusionen der Bandscheiben ohne wirkliche klinische Bedeutung (41, 42). Otto nennt 2 mm an Protrusion noch normal; auch Jirout und Capesius-Babin beschreiben diese

wellenförmigen Abhebungen des hinteren Längsbandes, die auch vom Funktionszustand der LWS abhängen und denen sie keine besondere Bedeutung zukommen lassen (5, 19, 28). Nach Jirouts Angaben nimmt der Duralsack in Höhe von LWK4/5 den größten Teil der Vorderwand des Wirbelkanals ein und steht in enger Beziehung zur Bandscheibe, d.h. der Periduralraum ist hier nur schmal. In Höhe der Bandscheibe LWK5/S1 verengt sich der Duralsack, füllt nur noch die mittleren Teile des Wirbelkanals aus und hebt sich etwas von seiner Vorderwand ab. Ein Prolaps dieser Platte kann ziemlich groß sein, ohne daß er den Duralsack deformiert (19). Unsere Ergebnisse decken sich mit den zitierten Beobachtungen.

Lewit bedient sich der Peridurografie zur Darstellung des vorderen Periduralraums, Reinhart der Abrodil- und Jirout der Pneumomyelografie (20, 24). Die eigene Arbeit wendet die Myelografie mit wasserlöslichem KM an. Auf Grund der verschiedenen Techniken sind die Resultate nur bedingt vergleichbar (Tabelle XII).

Tabelle XII: Breite des vorderen Periduralraums (in mm)

		Lewit(24)	Reinhart(20)	Jirout(20)	eigene Werte
LWK1	Mitte des LWKs	1,8		1,9	
	Unterkante				4,7
	Oberkante				
LWK2	Mitte	2,0		2,2	
	Unterkante				3,5
	Oberkante		1,5		
LWK3	Mitte	2,9	2,0	1,4	
	Unterkante		1,8		4,3
	Oberkante		2,2		
LWK4	Mitte	3,3	3,4	1,5	
	Unterkante		3,1		5,9
	Oberkante		3,9		
LWK5	Mitte	4,5	4,6	2,2	
	Unterkante		4,6		8,7
	Oberkante		4,1	3,1	
SWK1	Mitte	6,8			

Der Periduralraum ist von den einzelnen Verfassern an unterschiedlichen Stellen gemessen worden. In dieser Arbeit erfolgte die Messung in der Mitte der Zwischenwirbelstrecke. Sie entfiel, wenn der Periduralraum nur spaltbreit war, d.h. wenn keine Abhebung des hinteren Längsbandes vorlag. Es ist also darauf zu achten, wie oft keine Messungen vorgenommen wurden. Bei Jirout trifft das sehr oft zu, beim LWK1 in 97%, beim LWK2 in 95,5%, beim LWK3 in 59,7%, beim LWK4 in 26,9%, beim LWK5 in 41,7% und an der Oberkante vom SWK1 in 73,2% der Fälle. Unsere Betrachtungen lassen sich nicht mit denen von Jirout vergleichen, denn wir haben den Periduralraum in Höhe der Zwischenwirbelscheibe bestimmt und er in der Mitte des LWKs. Alle Autoren kommen trotz unterschiedlicher Untersuchungsmethoden zu der generellen Aussage, daß sich der Periduralraum in cranio- caudaler Richtung weitet (10, 19, 20, 24, 28, 30, 32, 43). Im Rahmen dieser Arbeit wurden wie beim Parameter Intervertebralstrecke auch beim Periduralraum Vergleiche zwischen physiologischen und pathologischen Befunden angestellt. In den pathologischen Fällen war der Periduralraum auf Höhe der Zwischenwirbelscheiben LWK3/4 und LWK4/5 durch die prolabierte Bandscheibe deutlich erweitert. Während er beim LWK3/4 normalerweise 4,3 mm maß, war er im Erkrankungsfall durchschnittlich 8,2 mm breit, beim LWK4/5 betrugen die Zahlen 5,9 bzw. 9,4.

Es erschien sinnvoll, zwei Strecken ins Verhältnis zueinander zu setzen, um den in jeder Strecke enthaltenen Projektionsfaktor heraus-dividieren zu können. Ein ähnlicher Vorschlag ist schon von Jones gemacht worden, der das Verhältnis $\frac{A \times B}{C \times D}$ aus 4 Parametern bildet, wobei A der sagittale und B der transversale Diameter des Spinalkanals, C der sagittale und D der transversale Diameter des Wirbelkörpers ist. Jones nennt das Ergebnis Kanal-Körperverhältnis oder Spinal-Index (21). Für die Spinalkanalweite im sagittalen Ausmaß werden keine eigenen Mittelwerte vorgestellt, da in der Literatur eine ganze Reihe von Angaben zu finden sind (9, 11, 12, 16, 17, 20, 21, 24, 25, 38, 39, 40). Dabei wird auf die Problematik hingewiesen, die hintere Begrenzung des Spinalkanals, die durch die Vorderfläche des processus spinosus

dargestellt wird, zu lokalisieren. Generell wird ausgesagt, daß der Spinalkanal bei LWK3/LWK4 eine Taille hat.

Tabelle XIII: Sagittaler Diameter des Spinalkanals auf Höhe der WK-mitte

LWK	Hinck	Davatchi	Vignon	Huizinga	Eisenstein		Lewit	Jirout	
					♂	♀		♂	♀
1	21,8	21,9	17,1	18,0	18,0	18,0	19,6	16,5	15,6
2	21,7	21,1	16,2	17,0	17,0	17,0	19,0	16,7	16,3
3	21,5	20,3	15,5	16,3	16,0	17,0	17,5	16,3	15,9
4	21,6	20,2	15,4	16,0	16,0	16,0	17,2	15,6	15,4
5	21,4	21,0	16,8	16,9	18,0	18,0	19,0	15,2	14,5

Die Zahlen von Hinck und Davatchi können nicht absolut gewertet werden, da Hinck nicht in anatomische Größen umgerechnet hat und bei Davatchi ein Vergrößerungskoeffizient von 1,3 enthalten ist.

Es war schwierig, das KM-band in der seitlichen Aufnahme zu beurteilen, da die Patienten jeweils auf dem Bauch lagen, somit das KM einen Spiegel im caudalen Endsack bildete und es nicht immer den gesamten Subarachnoidalraum auffüllte. Insbesondere auf den Höhen LWK1 und LWK2 war deswegen die hintere Begrenzung des Subarachnoidalraums oft schlecht dargestellt. Das verhinderte oder verfälschte die Messungen. Taveras trifft ähnliche Feststellungen (36). Geringe Bildqualität und Überlagerung durch knöcherne Strukturen am lumbo- sakralen Übergang erschwerten zusätzlich die Messungen des Spinalkanals und des KM-bandes. In unserer Arbeit wird das KM-band in cranio- caudaler Richtung schmäler. Key-Retzius und Malinowsky kommen allgemein zu wesentlich kleineren anatomischen Mittelwerten als wir (20).
Das Verhältnis Spinalkanal zum KM-band im sagittalen Diameter wird nach caudal immer größer (Tab. IX). Die Betrachtung der Wirbelkörperbreite in der Relation zur KM-bandbreite liefert auf Grund der hohen Streuungen und Standardabweichungen nur bedingt verwertbare Ergebnisse. Da die Wirbelkörper nach caudal breiter und das KM-band schmäler werden, nimmt das Verhältnis der beiden zu (Tab. IX).
Die Vergleiche des Interpedunkularabstandes mit der KM-bandbreite im transversalen Diameter zeigen, daß auch diese Rela-

tionen nach caudal größer werden, denn der Interpedunkularabstand nimmt zu und die KM-bandbreite ab. Die Relationen sind beim LWK1 1,09, beim LWK2 1,14, beim LWK3 1,24, beim LWK4 1,43 und beim LWK5 2,03. Diese Zahlen sind verläßlich wegen ihrer geringen Schwankungsbreite und der niedrigen Standardabweichungen (Tab. IX). Otto und Wright beschreiben als anatomische Variationen des Caudalsacks, daß in Höhe des 5. LWKs dessen Weite zwischen 30 % und 80 % des Interpedunkularabstandes schwanken könne (28, 43). Auch Capesius-Babin kommen zu ähnlichen Resultaten (5).
Komminoth beschreibt das Verhältnis Interpedunkularabstand zur KM-bandbreite auf Höhe des LWKs5 als Test zur Frage der Normalität. In normalen Fällen sei das Verhältnis 1,5; in Fällen von Megacauda betrage es beinahe 1 (23).

Der Berechnung der Megacauda wird ihre Definition vorangestellt.

Der Begriff "Megacauda" wurde 1959 von Pia eingeführt und bezeichnet eine abnorme Weite des Endsacks (29). Capesius-Babin nehmen an, daß die Megacauda angeboren und durch eine Wachstumsdisharmonie zwischen Knochenkanal und Endsack bedingt ist und ein Zusammenhang mit anderen Mißbildungen wie spina bifida besteht (5). Der Spinalkanal ist erweitert durch den angeboren großen Duralsack und wird außerdem nach caudal größer. Nach Pias Meinung ist dieser knöcherne Kanal am weitesten bei SWK1. Der Endsack ist unverhältnismäßig weit und füllt fast den ganzen Spinalkanal aus. Das epidurale Fettgewebe fehlt dabei weitgehend. Während sich normalerweise ab dem LWK3 der Caudasack besonders verjüngt, bleibt er in Megacaudafällen fast genauso weit wie auf den höheren Niveaus (29, 31). Wir bestätigen diese früheren Aussagen. Durch sie wird auch erklärt, daß auf den LWK-etagen 4,5 und SWK1 die Verhältnisse Spinalkanal zu KM-breite, LWK-breite zu KM-breite und Interpedunkularabstand zu KM-breite bei den Megacaudafällen kleiner sind als bei den normalen. Auch im Seitenbild zeigte sich, daß der weite Duralsack dem Spinalkanal eng anliegt. In Höhe der Zwischenwirbelscheiben fanden sich konkave Eindellungen des KM-bandes, die der welligen

Abhebung des hinteren Längsbandes entsprechen.
Die Definition einer Megacauda anhand von Meßgrößen gestaltet sich schwierig. Dies erkennen auch Capesius-Babin. Sie ziehen daher eine globale und morphologische Abschätzung den Messungen vor (5). Chaouat mißt im Seitbild die Weite des Duralsacks und des Wirbelkörpers auf demselben Niveau und stellt die Diagnose "Megacauda", wenn der Duralsack größer ist als der halbe Wirbelkörper (6). Komminoth behauptet, daß das Verhältnis Interpedunkularabstand zu Kontrastmittelsäule beim LWK5 ungefähr Eins beträgt (23).

Z U S A M M E N F A S S U N G

Diese Arbeit veranschaulicht die morphologischen Variationen des lumbosakralen Endsacks.
Die Messungen wurden an 600 Dimer- X- Myelogrammen vorgenommen. Es wurden die sagittalen und transversalen Diameter des knöchernen Kanals und des Subarachnoidalraums dargestellt. Des weiteren wurden die Länge und der Abgangswinkel der Nervenwurzeltaschen, die Breite der Lendenwirbelkörper in der a.p. Aufnahme sowie die Intervertebralstrecke und der Periduralraum in der seitlichen Aufnahme beurteilt.
Zur Elimination des Vergrößerungsfaktors wurde das Verhältnis von zwei Strecken gebildet, d.h. es wurden die Größen von Spinalkanal und KM-breite im sagittalen und transversalen Ausmaß und von Wirbelkörper und KM-band im transversalen Ausmaß verglichen. Es wurden Mittelwert, einfache Standardabweichung, Minimum- und Maximumwert und Gauß'sche Verteilungskurve zur Verdeutlichung der Schwankungsbreite herangezogen.

LITERATURVERZEICHNIS

1. Ahlgren, P.: Dimer- X A new contrast medium for lumbar myelography without spinal anaesthesia
Acta Radiol. Diagn. 13, 2, S. 753 (1972)

2. Ahlgren, P.: Long Term Side Effects after Myelography with Watersoluble Contrast Media: Conturex, Conray Meglumin 282 and Dimer- X
Neuroradiology 6, S. 206-211 (1973)

3. Amundsen, P.: Wasserlösliche Kontrastmittel bei der Untersuchung von raumfordernden intraspinalen Prozessen.
aus: Spinale raumfordernde Prozesse
Schiefer, W., Wieck, H.H. (1976)

4. Braband, H.; Wenker, H. et al: Klinische Prüfung eines neuen wasserlöslichen Kontrastmittels zur lumbosacralen Myelographie (1. Mitteilung)
Fortschr. Roentgenstr. Röfo 115, 5 S. 609-614 (1974)

5. Capesius, P.; Babin, E.: Radiculosaccography with Water-soluble Contrast Media
Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New-York (1978)

6. Chaouat, Y.: Lombosacroradiculalgies par canaux larges. L'Actualité Rhumatologique Présentée au Praticien
Séze, S., de, Ryckewaert, A. (eds.), S. 95-106
Paris: Expansion Scientifique Edit.(1974)

7. Chaouat, Y.; Kanovitch, B.; Faures, B.; Ginet, GL.; Piatecki, A.; Vignaud, J.: Lomboradiculalgies par canaux larges. Une variété de dysharmonie médullo-radiculo- méningo- rachidienne d'origine dure-mérienne.
Rev. Rhum. 41, S. 491-499 (1974)

8. Davatchi, F.; Benoist, M.; Massare, Cl.; Helenon, Ch.; Bloch- Michel, H.: Étude du canal osseux lombaire dans la sciatique vertébrale commune
Sem. Hop. Paris 45, S. 2013-2016 (1969)

9. Davatchi, F.; Benoist, M.; Massare, Cl.; Helenon, Ch.; Bloch- Michel, H.: Contribution à l'étude des cannaux étroits à l'étage lombaire. Technique radiologique et valeur normale.
Sem. Hop. Paris 45, S. 2008-2012 (1969)

10. Decker, Kurt: Klinische Neuroradiologie
Georg Thieme Verlag, Stuttgart (1960)

11. Eisenstein, S.: Measurements of the Lumbar Spinal Canal in 2 Racial Groups
Clinical Orthopaedics and Related Research, 115, S. 42-46 (1976)

12. Epstein, B.; Epstein, J.; Lavine, L.: The effect of anatomic variations in the lumbar vertebrae and spinal canal on cauda equina and nerve root syndromes.
Amer. J. Roentgenol., 91, 5, S. 1055-1063 (1964)

13. Gonsette, R.; André- Balisaux: Étude expérimentale et clinique de quelques produits de contraste hydrosolubles en vue de leur utilisation pour la radiculographie, la myélographie et la ventriculographie
J. Radiol. Electrol. 51, 1-2, S. 19-28 (1970)

14. Grainger, R.; Gumpert, J.; Sharpe, D.; Carson, J.: Water - Soluble Lumbar Ra diculography.
Clinical Trial of Dimer- X - A New Contrast Medium
Clin. Radiol. 22, S. 57-62 (1971)

15. Hammer, B.; Vogelsang, H.: Erfahrungen mit einem neuen wäßrigen Kontrastmittel für die lumbale Myelographie.
Radiologe 16, S. 412-415 (1976)

16. Hinck, V.; Hopkins, C.; Clark, W.: Sagittal diameter of the lumbar spinal canal in children and adults.
Radiology 85, S. 929-937 (1965)

17. Huizinga, J.; v.d. Heiden, J.; Vinken, P.: The human lumbar vertebral canal: a biometric study
Koninklijke Nederlandes Akademie Van Wetenschappen. Proceeding of the section of Sciences, C, 55, S. 22-33 (1952)

18. Jacobaeus, H.C.: On insufflation of air into the spinal canal for diagnostic purposes in cases of tumours in the spinal canal.
Acta med. scand. 55, S. 555-564 (1921)

19. Jirout, Jan: Neuroradiologie
VEB Verlag Volk & Gesundheit Berlin (1966)

20. Jirout, J.: Pneumomyelographie
Springfield, Ill., Charles C. Thomas Publ.(1969)

21. Jones, R.; Salford; Thomson, J.: The narrow lumbar canal. A clinical and radiological review.
J. Bone Jt. Surg., 50 B, 3, S. 595-605 (1968)

22. Kautzky, R.; Zülch, K.J.; Wende, S.; Tänzer, A.: Neuroradiologie auf neuropathologischer Grundlage
Springer Verlag(1976)

23. Komminoth, R.; Woringer, E.; Philippi, R.: Méga cul-de -sac dural. Étude clinique de 60 cas.
Neuro-chirurgie 14, S. 607-616 (1968)

24. Lewit, K.; Sereghy, T.: Lumbar Peridurography with Special Regard to the Anatomy of the Lumbar Peridural Space
Neuroradiology 8, S. 233-240 (1975)

25. Lindgren, E.: On the diagnosis of tumours of the spinal cord by the aid of gas myelography.
Acta chir. scand. 82, S. 303-318 (1939)

26. Louis, R.: Topographic Relationships of the Vertebral Column, Spinal Cord, and Nerve Roots
Anatomia clinica I (1978)

27. Ortner, W.D.; Kubin, H,; Kollar, W.A.F.: über die lumbale Funktionsmyelographie mit wasserlöslichen Kontrastmitteln bei Discopathien
Der Radiologe 12, 2, S. 69-73 (1972)

28. Otto, H.; Strahl, E.W.; Löhr, E.; Grote W. und Schumacher W.: Bedeutung der lumbalen Myelographie mit Dimer- X in der Diagnostik von Bandscheibenvorfällen.
Dtsch. med. Wschr. 101 (51), S. 1872 (1976)

29. Pia, H.W.: Megacauda
Langenbeck's Archiv klin. Chir. 290, S. 429-439(1959)
Fehlbildungen der Cauda- und Wurzelhüllen
Fortschritte der Medizin, 77, 3 (1959)

30. Piepgras, U.: Neuroradiologie
Georg Thieme Verlag Stuttgart(1977)

31. Reichelt, A.; Schimrigk, K.; Diebold, S.: Die Megacauda-Fehlbildung oder Normvariante
Med. Diss., Würzburg

32. Sartor, Klaus: Einführung in die Neuroradiologie
Verlag Gerhard Witzstrock Baden-Baden, Brüssel, Köln (1976)

33. Schäfer, M.; Riebeling, H.; Hacker, H.: Die falsch-negativen Resultate der lumbalen Myelographie mit wasserlöslichem Kontrastmittel
aus: Spinale raumfordernde Prozesse
Schiefer, W., Wieck, H.H. (1976)

34. Sicard, J.A.; Forestier, J.: Méthode générale d 'exploration radiologique par l 'huile iodée (lipiodol).
Bull. Soc. Med. Hop. Paris 46, S. 943-951 (1922)

35. Sobotta, J.; Becher, H.: Atlas der deskriptiven Anatomie des Menschen
Urban & Schwarzenberg, München - Berlin (1957)

36. Taveras, J.M.; Wood, E.H.: Diagnostic Neuroradiology Vol. 2
2nd Edition
The Williams and Wilkins Company Baldimore (1976)

37. Thomalske, G.; König, U.D.; Mohr, G.: Klinik und Ergebnisse operativer Therapie von lumbalen Bandscheibenläsionen bei 1000 Patienten unter besonderer Berücksichtigung der radikulographischen Befunde und der Operationsindikation
Therapiewoche 37, S. 3230-3238 (1973)

38. Verbiest, H.: Neurogenic intermittent claudication-compression of the cauda equina by lumbar stenosis lesions of the spinal cord and cauda equina-stenosis of the vertebral canal- narrowing of intervertebral foramina and entrapment of peripheral nerves.
Handbook of Clinical Neurology. Vinken, P.J.
Vol. XX, S. 611-807
Amsterdam: North Holland Publishing Company (1976)

39. Vignon, G.; Lespine, A.; Calvel, V.; Menier, P.; et Vignon, E.: La mesure du canal lombaire
Lyon méd. 233, S. 603-607 (1975)

40. Vignon, G.; Lespine, A.; Calvel, V.; Menier, P.; et Vignon, E.: Le syndrome de la sténose du canal lombaire de Verbiest
Lyon méd. 233, S. 609-619 (1975)

41. Wellauer, J.: Die Myelographie mit positiven Kontrastmitteln
Georg Thieme Verlag Stuttgart (1961)

42. Wellauer, J.: Erkrankungen am und im Spinalkanal
Brocher, J.E.W.: Wirbelsäule
Lehrbuch der Röntgendiagnostik Band III
Georg Thieme Verlag Stuttgart (1966)

43. Wright, F.W.; Sanders, R.C.; Steel, W.M.; Connor, B.T.:
Some Observations on the Value and Techniques of Myelography in Lumbar Disc Lesions. The Results over a Five Year Period at the Nuffield Orthopaedic Centre, Oxford
Clin. Radiol. 22, S. 33-43 (1971)

Herrn Professor Dr. med. M. N A D J M I möchte ich
für die freundliche Überlassung des Themas, seine
stete Hilfsbereitschaft und wertvolle Unterstützung
bei der Durchführung der Arbeit meinen Dank aussprechen.

Herrn Professor Dr. med. K. A. B U S H E danke ich
für die Übernahme des Korreferats.

L E B E N S L A U F

PERSÖNLICHE DATEN

geboren am	18.10.1955 in Brettheim
Eltern	Oberregierungsveterinärrat Dr. Paul Zimmer und Frau Rosemarie, geborene Arend
Staatsangehörigkeit	deutsch
Konfession	evangelisch

AUSBILDUNGSDATEN

Volksschule	1962-1966 in Bad Mergentheim
Gymnasium	1966-1974 in Bad Mergentheim
Abschluß	22.06.1974 Abitur
Studium der Humanmedizin	1974-1977 in Freiburg 1977-1981 in Würzburg 1978 Studienaufenthalt Detroit, USA 14.04.1981 Staatsexamen 22.04.1981 Approbation als Arzt

BERUFLICHE TÄTIGKEIT

seit 01.06.1981 Assistenzärztin beim Kerckhoff-Institut Bad Nauheim Max-Planck-Institut für klinische und physiologische Forschung

Ute Maria Zimmer